

海底地震計波形におけるナガスクジラ鳴音の特徴と音源定位についての考察*

○岩瀬良一 (JAMSTEC / CREST, JST)

1 はじめに

北海道釧路・十勝沖の海底に設置されているケーブル型観測システム「海底地震総合観測システム」^[1] (以下、「釧路・十勝沖システム」)において、ハイドロフォンだけでなく、同じ筐体に収納されている海底地震計によっても、ナガスクジラの鳴音が検出される例があることを前回報告した^[2]。またこの海底地震計3成分の波形のうち、鳴音部分についての水平2成分のパーティクルモーション、及びハイドロフォン波形における直達波と多重反射波の時間差(Time Difference of Multi-path arrival, 以下、TDOMA)を用い、音源定位即ちナガスクジラの存在位置の概略推定が可能であることを述べた^[3]。さらに釧路・十勝沖システムだけではなく、東日本の太平洋側の海底に設置されたケーブル型海底地震計システム、即ち東京大学地震研究所の三陸沖、気象庁の房総沖及び(独)防災科学技術研究所の相模湾システムについても過去の地震波形のデータからナガスクジラ鳴音を数例検出した^[4]。これらは、海域における地震の常時観測のため日本周辺海域に多数設置されている海底地震計観測網が鯨類の鳴音検出に活用可能であることを示している。一方で、地震計により検出されるナガスクジラ鳴音は、地動の計測という特徴故にハイドロフォンに比べて概して受信(受波)レベルが低く、検出例が少ない等の問題がある。また先行研究には、地震計の水平成分だけでなく、音源の鉛直方向の入射角を推定し、これをもとに音源定位を試みた例がある^[5]。そこで今回はこの方法の適用可能性を含め、海底地震計波形におけるナガスクジラ鳴音の特徴について、より詳細な調査並びに考察を行った。

2 観測データ

今回は文献[2]の Fig. 2 前後の期間である2004年12月10日13:44から14:59(時刻は

いずれも日本標準時)の間に釧路・十勝沖システムの OBS1 観測点で検出されたナガスクジラ鳴音の地震波形データを調査対象とした。

この期間のうち OBS1 のハイドロフォン波形上で多重反射波の読み取りが可能なデータ62個について、通過帯域10 Hz から25 Hz のバンドパス・フィルタをかけた地震計波形上の鳴音の直達波の水平成分のパーティクルモーションから鳴音の入射方位を求めた。次にハイドロフォン波形上の鳴音の直達波と多重反射波を用いた TDOMA^[3]から音源の水平距離を求めた。こうして得られた入射方位と水平距離から求めた音源(ナガスクジラ)の位置を Fig. 1 に黒点で示す。なお、水中音速は1500 m/s、水深は OBS1 の水深2329 m の一様平面からなる海底面とした。また入射方位は地震計波形3成分のデータから鳴音の直達波部分を含む1秒間を切り出し、主成分分析により得られた第一成分(固有値のうちの最大値)に対応する固有ベクトルを信号の振動方向とし、その水平成分を入射方位とした。水平成分だけでは入射方位に2方向の任意性(今回の場合 OBS1 の東側・西側のいずれか)が存在するが、これについては固有ベクトル(振動方向)の鉛直成分から判断される入射方位に基づいた。具体的には、Fig. 2 に示す13:46 に観測された鳴音のパーティクルモーションの場合、図上側の東西鉛直成分から OBS1 の西側に音源が存在すると判断し、Fig. 3 に示す14:25 に観測された鳴音のパーティクルモーションの場合、同様に OBS1 の東側に音源が存在すると判断した。

この結果、Fig. 1 の黒点に示すように13:44から13:59までの間に観測された鳴音は、10個中の9個が OBS1 の西側に位置する先端観測ステーションの近傍に定位され、それ以降は14:59までの全ての鳴音が OBS1 の東側に定位された。しかしながら、対象期間中の鳴音の到達時刻は、ハイドロフォン波形上では

* Study on the characteristics of fin whale vocalization on waveform of Ocean Bottom Seismometer and its localization, by IWASE, Ryoichi (JAMSTEC / CREST, JST).

いずれも OBS1 の方が先端観測ステーションより先であり、特に先端観測ステーション近傍に定位された音源については、OBS1 の約 3 秒後に先端観測ステーションに到達しており、得られた定位結果と矛盾する。そこで、これらの鳴音の入射方位も OBS1 の東側からとすれば、Fig. 1 の灰色の点に示す通り、その他の一連の定位結果の延長上に位置し、同一個体が移動しながら発した鳴音として矛盾なく説明できる。

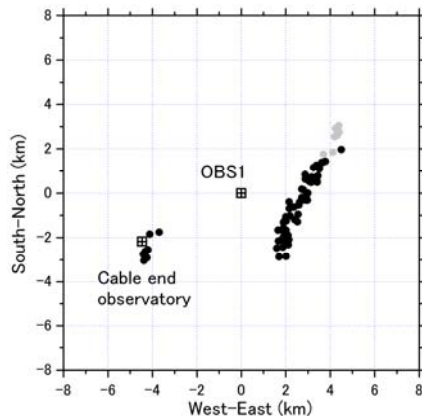


Fig. 1 Localized position of fin whale.

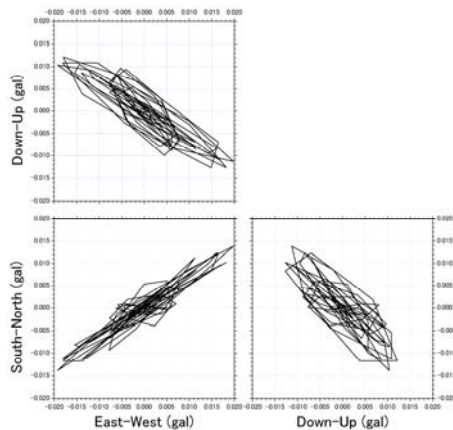


Fig. 2 Three dimensional particle motion of OBS waveform of the fin whale call observed at 13:46 JST on Dec. 10 2004.

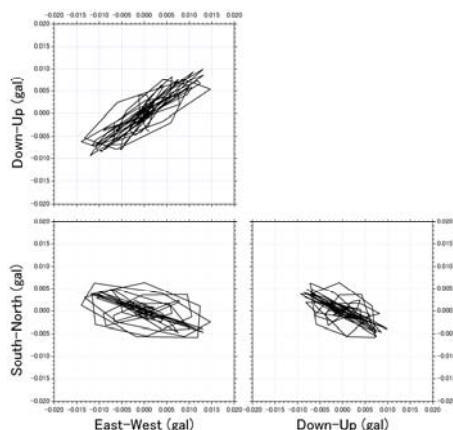


Fig. 3 Three dimensional particle motion of OBS

waveform of the fin whale call observed at 14:25 JST on Dec. 10 2004.

3 考察

Fig. 2 及び Fig. 3 に示すパーティクルモーションは、水中音波が海底面で変換された縦波(P 波)と横波(SV 波)の合成波の振動を示しており、鉛直断面に関しては、その振動方向は海底への見かけの射出角を示すことになる。そこで、この見かけの入射角と TDOMA による水平距離及び水深から見積もられる音波の入射角との対応を Fig. 4 に示す。灰色点は Fig. 1 において OBS1 の西側に定位された点に対応する。入射角が約 60 度以下では比較的良好な対応が見られるが、灰色点が分布する約 60 度以上の範囲では対応が崩れ、60 度付近が入射臨界角であると推定される。即ちこれ以上の入射角に対しては、地震計の振動方向のみからの定位は困難となる。

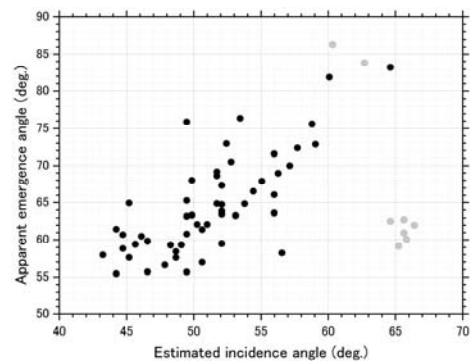


Fig. 4 Relation between estimated incidence angle and apparent emergence angle at OBS1.

4 おわりに

海底地震計波形上のナガスクジラ鳴音の特徴を調査し、振動方向のみに基づく音源定位の制約を示した。今後は地震計波形のみに TDOMA を用いた定位方法等を検討する。

謝辞

本研究の一部は(独)科学技術振興機構の CREST によった。

参考文献

- [1] K. Hirata et al., IEEE J. Ocean. Eng. 27(2), 170-181, 2002
- [2] 岩瀬, 音講論 (秋), 1353-1354, 2014.
- [3] 岩瀬, 信学技報, **114(190)**, 49-54, 2014.
- [4] R. Iwase, Proc. Symp. Ultrasonic Electron. (USE2014), **35**, 553-554, 2014.
- [5] S. Harris, et al., JASA, **134**, 3522-3535, 2013.